

ПЛАЗМА ЯК ЧЕТВЕРТИЙ СТАН РЕЧОВИНИ: ВЛАСТИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У доповіді досліджено фізичні основи та прикладні аспекти існування плазми як четвертого агрегатного стану речовини. Проаналізовано характеристики плазових систем, механізми іонізації та вплив зовнішніх полів на поведінку заряджених частинок. Розглянуто приклади природної плазми (сонячний вітер, іоносфера) та штучної плазми, створеної у лабораторних і промислових умовах. Особливу увагу приділено технологічному використанню плазми в галузях енергетики, матеріалознавства, мікроелектроніки, а також перспективам термоядерного синтезу. Окреслено фундаментальне значення плазового стану для сучасної фізики високих енергій, астрофізики та інженерної практики.

Ключові слова: плазма, іонізація, електронна температура, колективні ефекти, термоядерний синтез, плазова обробка, сонячний вітер, плазова технологія, агрегатний стан, електричне поле, іоносфера.

Abstract

The report examines the physical foundations and applied aspects of the existence of plasma as the fourth state of matter. The characteristics of plasma systems, ionization mechanisms, and the influence of external fields on the behavior of charged particles are analyzed. Examples of natural plasma (solar wind, ionosphere) and artificial plasma created in laboratory and industrial conditions are considered. Special attention is paid to the technological use of plasma in the fields of energy, materials science, microelectronics, as well as the prospects for thermonuclear fusion. The fundamental importance of the plasma state for modern high-energy physics, astrophysics, and engineering practice is outlined.

Keywords: plasma, ionization, electron temperature, collective effects, thermonuclear fusion, plasma processing, solar wind, plasma technology, state of matter, electric field, ionosphere.

Вступ

Плазма є одним із чотирьох фундаментальних агрегатних станів речовини, поряд із твердим, рідким і газоподібним. На відміну від інших станів, вона складається з вільних заряджених частинок — електронів та іонів — які демонструють колективну поведінку під впливом електричних і магнітних полів. Більшість речовини у Всесвіті існує саме у формі плазми — прикладом є Сонце, зорі, міжзоряний простір. Проте завдяки розвитку технологій плазма дедалі активніше використовується й у земних умовах — зокрема, в плазових

дисплеях, дуговому зварюванні, іонній імплантації, стерилізації, а також у створенні термоядерних реакторів.

Вивчення властивостей плазми має важливе значення для фізики високих енергій, аерокосмічної техніки, електроніки та нанотехнологій. У межах цього дослідження розглядаються фізичні принципи формування плазми, її термодинамічні параметри, типи та приклади, а також галузі, в яких плазмові явища є критично важливими для інноваційних процесів і виробництва.

Результати дослідження

Плазма є особливим агрегатним станом речовини, що виникає внаслідок іонізації — втрати атомами або молекулами своїх електронів [1]. Вона складається з позитивних іонів та вільних електронів, які формують електронейтральне середовище з високою електропровідністю. Основною її характеристикою є здатність взаємодіяти з електричним полем та магнітними впливами. Важливою відмінною рисою є колективні ефекти, завдяки яким заряджені частинки поведуться як єдина система з динамічною поведінкою.

Одним із ключових параметрів плазми є електронна температура, що визначає рівень середньої кінетичної енергії електронів [2]. У низькотемпературній плазмі температура електронів значно перевищує температуру іонів, що дозволяє зберегти цілісність об'єктів під час впливу. У високотемпературних умовах температури електронів і іонів вирівнюються, як у зорях або термоядерних реакторах. Саме ступінь іонізації визначає інтенсивність процесів, пов'язаних із теплоперенесенням і електропровідністю.

У природі плазма відіграє важливу роль — наприклад, у вигляді сонячного вітру, який являє собою потік іонізованих частинок від Сонця [3]. Ці частинки, стикаючись із магнітосферою Землі, спричиняють утворення іоносфери, що важлива для радіозв'язку та захисту планети від шкідливого випромінювання. До інших прикладів належать блискавка, полярне сяйво, міжзоряний простір і корона Сонця. Наявність природної плазми демонструє її фундаментальну роль у будові Всесвіту.

Плазмова обробка матеріалів широко використовується для очищення, модифікації поверхонь, стерилізації та осадження плівок [4]. У мікроелектроніці за допомогою плазми гравіюють мікроструктури з високою точністю. Також вона слугує середовищем для термоядерного синтезу — процесу злиття ядер у надвисоких температурах. Розвиток плазмової технології відкриває широкі можливості для застосування в медицині, авіації, нанотехнологіях та енергетиці.

Сучасні дослідження спрямовані на створення стабільних плазмових середовищ у термоядерних реакторах, зокрема у рамках міжнародного проєкту ITER [5]. Особливу увагу приділено контролю електричних полів і утриманню плазми в магнітних пастках. Розширення сфер застосування включає можливості у космічних технологіях, «чистому» виробництві та альтернативній енергетиці. За прогнозами, плазмова технологія стане основою низки інноваційних рішень у найближчі десятиліття [6].

Висновок

Плазма є надзвичайно складною, але водночас універсальною формою матерії, яка поєднує в собі властивості газу, рідини та колективну поведінку заряджених частинок. Її фізичні особливості — висока електропровідність, чутливість до магнітних полів, здатність до самостійної генерації коливань і хвиль — роблять її об'єктом глибоких міждисциплінарних досліджень.

Застосування плазми охоплює як фундаментальну науку, так і практичну інженерію: від моделювання зоряних систем до щоденних технологій у виробництві та медицині. Подальший розвиток плазмових технологій тісно пов'язаний із розв'язанням глобальних задач — енергетичної безпеки, мікроелектроніки, охорони здоров'я та освоєння космосу. Отже, глибоке розуміння властивостей плазми та механізмів її взаємодії з матерією є важливою умовою для науково-технічного прогресу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Wesson J. Plasma Physics / John Wesson. — Oxford: Clarendon Press, 2011. Посилання: [https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_(physics))
2. Chen F. F. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion. — New York: Springer, 2016. Посилання: https://en.wikipedia.org/wiki/Plasma_parameters
3. SpaceWeatherLive.com. Основи космічної погоди. Посилання: <https://www.spaceweatherlive.com/uk/dopomoga.html>
4. “Pedia Україна”. Плазмова обробка матеріалів. Посилання: <https://pedia.com.ua/hroshi/plazmova-obrobka-materialiv.html>
5. НАУКА Посилання: <https://nauka.gov.ua/news/ukrainski-doslidnyky-rozrobyly-prylad-dlia-kholodnoi-sterylizatsii-medychnykh-vyrobiv/>
6. Вороніна Н. М., Петренко Я. В. «Перспективи розвитку індустрії термоядерної енергії у розвинених країнах світу та в Україні. Посилання: https://www.researchgate.net/publication/314088093_Prospects_for_the_Development_of_the_Fusion_Energy_Industry_in_the_Developed_Countries_of_the_World_and_in_Ukraine

Сінчук Анастасія Миколаївна – студентка групи 1КН-24б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: nsttsnk2@gmail.com.

Науковий керівник: **Володимир Валерійович Мартинюк** – доцент кафедри загальної фізики Вінницького національного технічного університету, Вінниця, e-mail: martynyuk.v.v@vntu.edu.ua.

Sinchuk Anastasia Mykolaivna – student of group 1CS-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: nsttsnk2@gmail.com

Academic supervisor: **Volodymyr Valeriyovych Martynyuk** - Associate Professor of the Department of General Physics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: martynyuk.v.v@vntu.edu.ua.